

تحليل عناصر الموازنة المائية وأثرها على معامل الرطوبة NDMI في محافظة البلقاء باستخدام نظم المعلومات الجغرافية وتقنيات الاستشعار عن بعد

عبد الله محمد الربابعة^١
تاريخ الاستلام
2022/10/26

أ.د. علي أحمد العنانزة^٢
تاريخ القبول
2022/11/30

الملخص

اهتمت الدراسة بالوضع المائي في محافظة البلقاء، في الجزء الغربي من المملكة الأردنية الهاشمية، عن طريق دراسة عناصر الموازنة المائية، وتحليلها باستخدام نموذج Thornthwaite and Mather 1955 للفترة 1990-2021 من حيث التوزيع المكاني لعناصر الموازنة المائية، والعوامل المؤثرة فيها، ودراسة انعكاسها وتحليله على معامل الرطوبة (Normalized Difference Moisture Index (NDMI باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد، ونظم المعلومات الجغرافية، من خلال تحليل مرئيات القمر الصناعي landsat-8 ومعالجتها في بيئة برنامج Arc GIS Pro. توصلت الدراسة إلى أن محافظة البلقاء تتلقى كميات جيدة من الهطول المطري يمكن أن تنمي القطاع الزراعي، ووجود علاقة طردية ما بين معامل NDMI وكل من الهطول المطري، والفائض المائي، ورطوبة التربة، والجريان المائي، ووجود علاقة عكسية بين معامل NDMI ودرجات الحرارة، ومعدلات التبخر، والعجز المائي. وأوصت الدراسة بضرورة الاستخدام الأمثل للموارد المائية في محافظة البلقاء، وإجراء الدراسات المائية والزراعية للوصول إلى التخطيط والإدارة السليمة في المنطقة، وإمكانية الاعتماد على نموذج Thornthwaite and Mather 1955 ونظم المعلومات الجغرافية GIS وتقنيات الاستشعار عن بعد RS في إجراء الدراسات المائية، ودراسة الوضع المائي لأي منطقة.

الكلمات المفتاحية: الموازنة المائية، معامل الرطوبة النسبي (NDMI)، نظم المعلومات الجغرافية، الاستشعار عن بعد، محافظة البلقاء.

Analysis of water balance elements and their impact on NDMI moisture resistance in Balqa Governorate using Geographic Information Systems and remote sensing techniques

Abstract

The study focused on the water situation in Balqa Governorate in the western part of the Hashemite Kingdom of Jordan through studying and analyzing the water balance elements using the Thornthwaite and Mather 1955 model for the period 1990-2021 in terms of the spatial distribution of the water balance elements and the factors influencing them, and studying and analyzing their reflection on The Normalized Difference Moisture Index (NDMI) by using remote sensing techniques and geographic information systems by analyzing the landsat-8 satellite images and processing them in the Arc GIS Pro program environment. NDMI coefficient and each of the precipitation, water surplus, soil moisture and water runoff, and the presence of an inverse relationship between the NDMI coefficient, temperatures, evaporation rates, and water deficit. On the model of Thornthwaite and Mather 1955 and systematization of knowledge Geographical GIS and remote sensing techniques RS in conducting water studies and studying the water situation of any region.

Keywords: water balance, Normalized Difference Moisture Index (NDMI), geographic information systems, remote sensing, Balqa Governorate.

1. مقدمة

تعد دراسة عناصر المناخ لأي منطقة من الأمور الضرورية للحياة البشرية؛ بسبب تأثير المناخ وتحكمه بصورة مباشرة في نواحي الحياة على سطح الأرض. كما أن للحرارة تأثيراً كبيراً على عناصر المناخ الأخرى وخاصة محتوى الرطوبة في التربة والنبات؛ فهي من أكثر عناصر المناخ أهمية للإنسان. (هادي وآخرون، 2019). تؤثر ندرة الأمطار في إنتاجية التربة، والغطاء النباتي، والتنمية بأشكالها المختلفة، خاصة في الأقاليم التي تسود فيها ظروف الجفاف الحاد، والمستمر، وتعد الموازنة المائية من النماذج التي يستدل بها على الجفاف الذي يؤدي إلى اختلال الأنظمة البيئية، الذي يؤثر تأثيراً بالغاً في الأمن الغذائي، والاقتصادي للإنسان، (الزيدي، 2014). وقد أدرك الباحثون أن استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد، ونظم المعلومات الجغرافية (GIS & RS) يؤدي إلى دقة أعلى في الحصول على النتائج، وسهولة تقييم ظواهر سطح الأرض، (Salehi et al, 2017).

تعد عملية تقدير الموازنة المائية للتربة، بالاعتماد على المعدلات الشهرية للأمطار والحرارة إحدى الطرق الفاعلة في تحديد إمكانات المنطقة التي تمثلها من الرطوبة؛ لما لها من دور في تحديد كثافة الغطاء النباتي، وأنماط الزراعة، وخصائص المنطقة الطبيعية، وفيما إذا كانت تمتاز بفائض مائي، أو تعاني من عجز مائي، كما يعد تقدير كمية مياه الأمطار المفقودة بسبب التبخر والنتح، من الأمور الأساسية في الدراسات المائية؛ لعلاقتها المباشرة بمحتوى التربة من الرطوبة. (عنيزة، 1996) وبالتالي فهي مهمة أيضاً في دراسة الغطاء النباتي، باعتبارها محصلة للعلاقة ما بين الأمطار من جهة والتبخر من التربة والنتح من النبات من جهة أخرى. (شحادة، 1981) وتعد الموازنة المائية مؤشراً قوياً على مدى توفر الرطوبة في التربة؛ إذ إن النبات الطبيعي لا يمكنه الاستفادة من مجموع الأمطار الهاطلة على سطح الأرض، نتيجة ارتفاع معدلات التبخر والنتح، وبالتالي يتم تطبيق الموازنة المائية لمعرفة مستوى الرطوبة في التربة (المقبل، 2002).

2. مشكلة الدراسة

شهدت المملكة الأردنية الهاشمية ارتفاعاً ملحوظاً في معدلات التبخر، وانخفاض المحتوى الرطوبي للتربة، وقلة مصادر المياه بشكل كبير، وبالتالي التأثير على مختلف القطاعات وخاصة القطاع الزراعي. ومما لا شك فيه أن هناك أهمية بالغة للقطاع الزراعي، الذي يعد من أهم القطاعات الاستراتيجية؛ لما له من دور كبير في الحفاظ على الأمن الغذائي. وجاءت الدراسة للوقوف على الوضع المائي لمحافظة البلقاء، عن طريق إعداد موازنة مائية لمحافظة البلقاء، وتحليل معامل الرطوبة NDMI والعلاقة بينهما، بالتوافق ما بين الاستشعار عن بعد (R.S) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS)؛ إذ تعد درجات الحرارة، والرطوبة، والعناصر المناخية من المتغيرات التي يمكن قياسها، ودراستها، من خلال التقنيات التي توفرها تقنيات (RS & GIS) لإعداد الخرائط الموضوعية اللازمة.

وجاءت الدراسة للإجابة عن التساؤلات التالية:

- 1- ما مقدار التباين المكاني لعناصر الموازنة المائية في محافظة البلقاء؟
- 2- ما مقدار التباين المكاني لمعامل NDMI في محافظة البلقاء؟
- 3- ما مقدار التوافق بين معامل NDMI وعناصر الموازنة المائية؟

3. أهداف الدراسة

تسعى الدراسة إلى تحقيق الأهداف التالية:

1. إعداد الموازنة المائية لمحافظة البلقاء بالاعتماد على نموذج (TM) للوقوف على الوضع المائي في محافظة البلقاء وبما يحقق الهدف العام، وإعداد الخرائط الموضوعية المرتبطة بنتائج تقدير عناصر الموازنة المائية وتحليلها.
2. دراسة العلاقة والارتباط بين درجات الحرارة، ومعدلات الأمطار، ومؤشر الرطوبة NDMI في المنطقة، باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد، ونظم المعلومات الجغرافية.
3. دراسة مقدار التغير في معامل الرطوبة النسبي NDMI في محافظة البلقاء باستخدام الاستشعار عن بعد، ونظم المعلومات الجغرافية.

4. أهمية الدراسة

تكمن أهمية الدراسة في دراسة الوضع المناخي في محافظة البلقاء، بالتوافق ما بين النماذج المناخية المتمثلة في تحليل الموازنة المائية، وتقنيات الاستشعار عن بعد، ونظم المعلومات الجغرافية، عن طريق حساب معامل الرطوبة NDMI. وتعمل الدراسة على تطوير جوانب المعرفة لدى الباحث، وتعمل على الزيادة العلمية للحقل العلمي المشابه، وتعد مرجعاً للدراسات الأخرى، ويمكن الاعتماد عليها في دراسة جوانب علمية أخرى ترتبط بالموازنة المائية، ومحتوى رطوبة التربة، وإن دراسة هذا الموضوع يمكن الجهات المعنية من اتخاذ الإجراءات اللازمة في التخطيط، والإدارة، ووضع الخطط اللازمة، لا سيما في مجال التنمية الزراعية في محافظة البلقاء خاصة، والمملكة الأردنية الهاشمية عامة.

5. التعريفات الإجرائية والاصطلاحية

الموازنة المائية: المقارنة بين كميات المياه التي تتلقاها منطقة معينة من الأرض، وكميات المياه المفقودة من نفس المنطقة، والمتمثلة بالتبخر، والنتح، والتسرب، والترشيح، وتعد عملية تقدير الموازنة المائية أمراً مفيداً للغاية؛ لتخطيط الموارد المائية وإدارتها في منطقة معينة. (ahmad, et al, 2022).

رطوبة التربة: نسبة توفر المياه في التربة، وهي كمية الرطوبة المخزنة في التربة الموجودة فوق منسوب المياه الجوفية، بما في ذلك بخار الماء في مسام التربة. (الشيخ، 2014)

نظم المعلومات الجغرافية: هو نظام قائم على الحاسوب يعمل على جمع البيانات والمعلومات المكانية وصيانتها، وتخزينها، وتحليلها، وإخراجها، وتوزيعها. Sankey et al, (2020)

الاستشعار عن بعد: هو علم استخلاص المعلومات والبيانات عن سطح الأرض، والمساحات المائية، باستخدام صورة ملتقطة من أعلى، من خلال تسجيل الأشعة الكهرومغناطيسية المنعكسة، أو المنبعثة من سطح الأرض بواسطة الأقمار الصناعية. (Taloor et al, 2021)

6. حدود الدراسة

1. الحدود المكانية: طبقت هذه الدراسة على محافظة البلقاء في الجزء الغربي من المملكة الأردنية الهاشمية.
2. الحدود الزمانية: طبقت هذه الدراسة للعام 2021.
3. الحدود الموضوعية: تم دراسة الموازنة المائية، وعلاقتها برطوبة التربة في محافظة البلقاء.

7. محددات الدراسة:

تحددت الدراسة بأدواتها المستخدمة؛ إذ إنّ النتائج محكومة بمدى دقة التطبيقات والبرمجيات المستخدمة في الدراسة.

8. الدراسات السابقة

هناك دراسات عدّة اهتمت بدراسة العناصر المناخية، وتحليلها، ومعرفة الآثار المترتبة عليها عن طريق اتباع طرق مختلفة، ودراسة المعاملات، والمؤشرات باختلاف أنواعها باستخدام تطبيقات (RS & GIS).

قام Mirza, et al (2022) بدراسة الموازنة المائية لتحليل واقع المحاصيل الزراعية في كانساس باستخدام الأقمار الصناعية، وبيانات الأرصاد الجوية، حيث استخدم التبخر الحقيقي، والهطول المطري، ورطوبة التربة، ومياه الري لحساب الموازنة المائية في كانساس لعام 2015، وتوصلت الدراسة إلى أن مياه الري تشكل نسبة كبيرة من امدادات المياه في الولاية، وأظهرت الدراسة الأنماط المكانية لاستخدام مياه الري والموازنة المكانية في كانساس، التي يمكن أن توفر معلومات مفيدة لإدارة الزراعة المروية، والموارد المائية في ولاية كانساس.

قام Ibrahem, et al (2021) بدراسة ملائمة الموائل للتجدد الطبيعي للنبات في منطقة صنفه التابعة لمحافظة اللاذقية في سوريا، باستخدام صور الأقمار الصناعية؛ لإنشاء بيانات مكانية، وبنية حرجية، ومؤشرات طيفية، تتعلق بمتغيرات مختلفة، مثل الغطاء الأرضي السائد باستخدام بعض المؤشرات مثل NDMI و NDWI و MSAVI، وتوصلت الدراسة إلى أن 9.5% من مساحة منطقة الدراسة صالحة للتجدد الطبيعي للنبات، بينما بينت الدراسة عدم صلاحية 78.23% من هذه المنطقة.

قام Moreno-Fernández et al (2021) باستخدام العمل الميداني والاستشعار عن بعد في استكشاف الروابط المحتملة بين موت الغابات، والمتغيرات على سطح الأرض المشتقة من المرئيات الفضائية للقمر الصناعي Landsat-8 وبينت الدراسة أن قطع الأراضي التي تمت دراستها تحتوي على أشجار تالفة بسبب تعرض المنطقة لفترات جفاف حاد في منتصف التسعينيات؛ مما يشير إلى فاعلية المؤشرات الطيفية المستخدمة كمؤشرات للإنذار المبكر عن تدهور النباتات.

قام Sankey et al (2020) بحساب مؤشر NDMI ومؤشر NDWI ومؤشر NDVI لدراسة أثر استعادة النباتات عافيتها بعد الحرائق في ولاية أريزونا الأمريكية، وتوصلت الدراسة إلى أن الغابات تتحسن بعد الحصول على كميات رطوبة عالية، وهطول الأمطار، وأن استخدام هذه الوسائل يعمل على توفير البيانات اللازمة التي تعزز الرصد المستقبلي للغطاء النباتي.

قامت Nejad et al (2019) بتقييم مؤشرات LST و NDMI باستخدام القمر الصناعي MODIS و landsat في غابات كارون النهرية، وتوصلت الدراسة إلى تناسب النتائج المقدره لمعامل NDMI مع درجات الحرارة المستخلصة في غابة نهر كارون ذات الأهمية البيئية في خوزستان/إيران، وأوصت الدراسة بضرورة تعزيز الاعتماد على هذين المؤشرين؛ لدراسة المخاطر المتعلقة بالغطاء النباتي ومحاولة الحماية منها.

قام Hazaymeh and Hassan (2017) باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد في دراسة الجفاف الزراعي في المناطق شبه القاحلة في الأردن، حيث استخدمت الدراسة ستة متغيرات مرتبطة بالجفاف الزراعي، وقام بدمج هذه المتغيرات الأقل ارتباطاً نسبياً وهي معامل الخضرة (NDVI)، ومؤشر الجفاف (VSDI)، ومؤشر درجة حرارة سطح الأرض (LST) لتوضيح فئات الجفاف وهي الجفاف النسبي، والجفاف المعتدل، والجفاف الشديد، وأظهرت الدراسة أن هذه الطريقة ستكون مفيدة لرصد الزراعة وظروف الجفاف في المنطقة شبه القاحلة عبر دقة مكانية (30m) ووقت قصير (8 days).

قام ji, et al (2016) بتوظيف نظم المعلومات الجغرافية GIS في تقييم مدى تعرض حديقة ألأس بورو الوطنية لحرائق الغابات والأراضي، وكان الغرض من الدراسة هو تطوير خريطة تعرض الغابات والحرائق البرية لمتنزه ألأس بورو الوطني على أساس المتغيرات المكانية. واستخدم الباحث معايير البعد عن الطرق والقرى، ودرجة حرارة السطح، ودرجات الانحدار، ومعامل NDMI ومعامل NDVI وتوصلت الدراسة إلى تقسيم منطقة الدراسة إلى أربع فئات حسب قابليتها للتعرض إلى الحرائق.

قام زيتون، (2016) بتحليل الموازنة المائية للتربة في شمال الأردن للفترة 1970-2009، لمعرفة فترات الفائض المائي، وفترات العجز المائي في المنطقة، وشملت الدراسة منطقة شمال الأردن ممثلة بأربع محطات مناخية: رأس منيف، الباقورة، إربد، المفرق، وطبق أسلوب ثورنثويت المعدل عام 1955 في حساب الموازنة المائية، وقد أشارت النتائج إلى وجود فترتين من حيث التوزيع المكاني للرطوبة؛ فترة فائض مائي تمتد من 3-5 أشهر، وفترة عجز مائي تمتد من 7-9 أشهر.

قام ICRAF (2005) باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد (R.S) مهم جداً لعمل خرائط الموارد الطبيعية، وتوليد قاعدة بيانات مكانية مناسبة، وتجهيزها كمدخلات من أجل التحليل باستخدام (GIS)، حيث يعتبر (GIS) أداة لجمع البيانات المكانية وتخزينها وتحليلها، وبالتالي تطوير نموذج بالاعتماد على العناصر المحلية التي يمكن استخدامها في عملية التقييم للموارد الطبيعية، ووضع خطط العمل المتعلقة بالمياه، ويمكن تطبيق هاتين التقنيتين بشكل متلازم لاستخدامها كأداة فاعلة لاختيار المواقع المناسبة للحصاد المائي.

قام Jin and Sader (2004) باستخدام مؤشرات الغطاء النباتي للكشف عن التغير في الغابات من خلال معالجة معامل NDMI ومعامل TCW للكشف عن الغطاء النباتي في الغابات، وكثافتها. وتوصلت الدراسة إلى فاعلية هذين المعاملين إذا ما تم أخذهما بفترات متقاربة، وأوصت الدراسة بضرورة أخذ صورة فضائية لكل عام، وتقليل الفترة الزمنية بين كل صورة وأخرى.

تقوم هذه الدراسة بتحليل الواقع المائي ورطوبة التربة في محافظة البلقاء، باستخدام الوسائل الحديثة والمتمثلة بمعامل NDMI والوسائل التقليدية المتمثلة بنموذج ثورنثويت وماذر لتحليل الموازنة المائية. حيث جاءت هذه الدراسة لتوظيف النماذج المناخية بالتوافق مع (RS &)

GIS) في الكشف عن الوضع المناخي في محافظة البلقاء بالاعتماد على البيانات التي توفرها المحطات المناخية التابعة لدائرة الرصد الجوية ووزارة المياه والري، وإجراء التحليلات اللازمة، ودراسة أثر هذه العناصر على مؤشر الرطوبة النسبي NDMI وإعداد الخرائط الموضوعية فيما يتعلق بالخصائص الطبيعية، وتمثيل الظواهر الجغرافية لمحافظة البلقاء ونتائج تحليل البيانات في منطقة الدراسة.

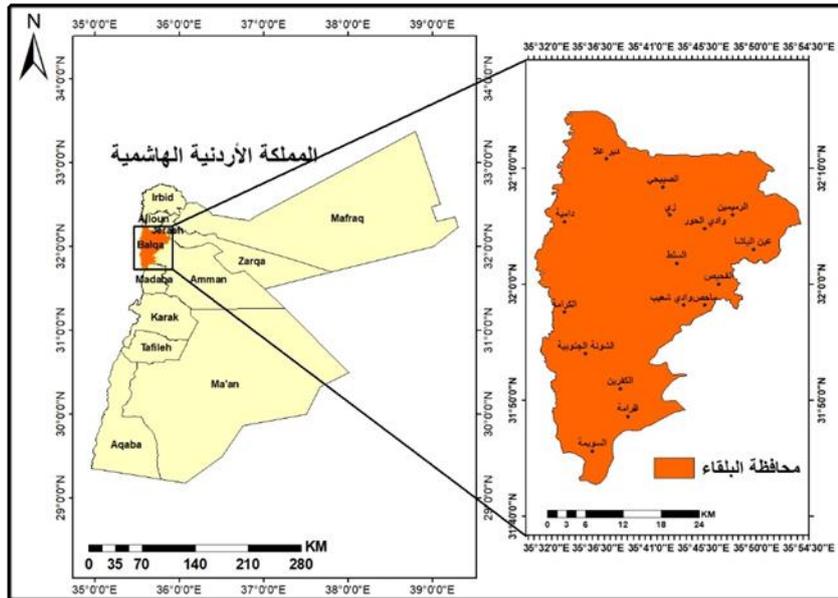
9. الخصائص الطبيعية لمنطقة الدراسة

9.1 الموقع

تقع محافظة البلقاء ما بين خطي طول 35.518° و 35.897° ودائرتي عرض 31.713° و 32.249° في الجزء الغربي من المملكة الأردنية الهاشمية، وتتوسط نسبياً محافظات المملكة وتضم 491709 نسمة. (دائرة الإحصاءات العامة، 2021) وتبلغ مساحة محافظة البلقاء 1128.4 كم² وتضم 5 ألوية وهي (لواء قصبة السلط، لواء عين الباشا، لواء ماحص والفحيص، لواء دير علا، لواء الشونة الجنوبية) وتبعد عن مركز العاصمة عمان حوالي 29 كم. (وزارة الداخلية الأردنية، 2020). وقد جاء اختيار محافظة البلقاء لتمييزها بتنوع مناخي، بالإضافة إلى التنوع في التضاريس وأشكال سطح الأرض. الشكل (1).

الشكل (1): موقع منطقة الدراسة

المصدر: عمل الباحثين باستخدام برنامج Arc Map 10.7



9.2 الارتفاع

يؤثر منسوب الارتفاع في العناصر المناخية، حيث تتناقص درجات الحرارة، وتزداد معدلات الهطول المطري كلما ارتفعنا عن سطح البحر، وبالتالي ينعكس على عناصر الموازنة المائية، ومحتوى التربة من الرطوبة لأي منطقة، وتراوحت مناسيب الارتفاع في محافظة البلقاء ما بين (442م) في المناطق الغربية، و1109م في مرتفعات السلط. الشكل (2).

9.3 الانحدار

يعد الانحدار انحراف أو ميل السطح عن المستوى الأفقي، وللانحدار دور بارز في تكوينات وعمق التربة والتراكيب الجيولوجية، كما يؤثر على تراكمات التربة، وجريان المياه، وسرعة التصريف المائي، حيث بلغت درجات الانحدار في محافظة البلقاء ما بين $0 - 54.3^\circ$ حيث تضم محافظة البلقاء المناطق المستوية، والمتوسطة، وشديدة الانحدار. الشكل (3).

9.4 اتجاه السفوح

يتحكم اتجاه السفوح بكميات المياه التي تتلقاها المنطقة، وبالتالي التأثير على كميات الهطول المطري، والمحتوى الرطوبي، ومواجهة المنطقة للرياح، وكمية اشعة الشمس التي تتلقاها والشكل (4) يبين اتجاه السفوح في منطقة الدراسة.

9.5 استعمالات الأرض/الغطاء الأرضي

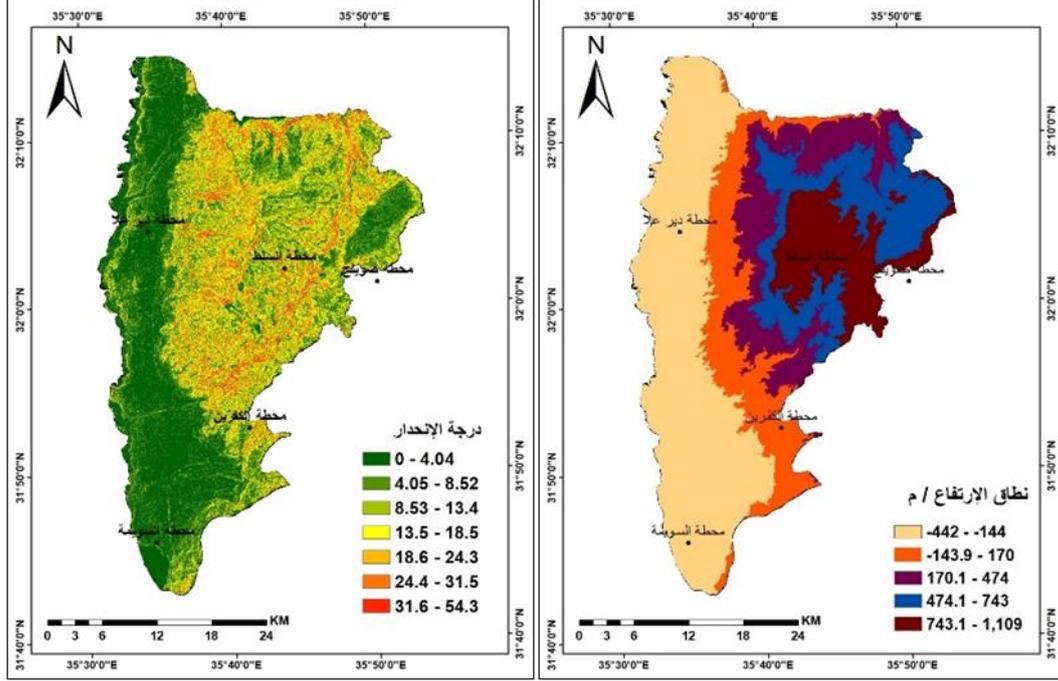
تعد دراسة استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي من الأمور المهمة في الدراسات الجغرافية، التي لها تأثير مباشر وغير المباشر في التخطيط والإدارة لأي منطقة، وهي ذات أهمية كبيرة في دراسة التغيرات البيئية العالمية، والدراسات الهيدرولوجية، ودراسة الغطاء النباتي، ومعرفة العوامل المؤثرة في الغطاء الأرضي، واستعمالات الأراضي وتحديد العلاقة بينهما. (زريقات، 2014) وتنوعت استعمالات الأراضي في محافظة البلقاء ما بين الاستعمالات السكنية، والأشجار، والمراعي، والأراضي الزراعية، والأراضي الجرداء، وبعض المسطحات المائية، حيث تحتوي على أربعة سدود مائية، وهي؛ سد الكرامة، وسد وادي شعيب، وسد الكفرين، وأجزاء من سد الملك طلال. الشكل (5).

9.6 التربة

تعدّ التربة الطبقة الهشة التي تغطي سطح الأرض على ارتفاع يتراوح ما بين بضعة سنتيمترات إلى عدة أمتار، وتعتبر مزيجاً من المواد العضوية والمعدنية والهواء والماء، وتعمل على تثبيت جذور النباتات، ويستمد منها محلول التربة الذي يزود النباتات بالغذاء. (الشلش، 1985م) وهناك العديد من العوامل التي تؤثر في نوعية التربة، وكثافتها، ومساميتها مثل نوعية المواد العضوية، ومحتوى التربة من الماء، ومحتوى التربة من المعادن، وتباين نوعية التربة في محافظة البلقاء حسب الارتفاع والانحدار. الشكل (6).

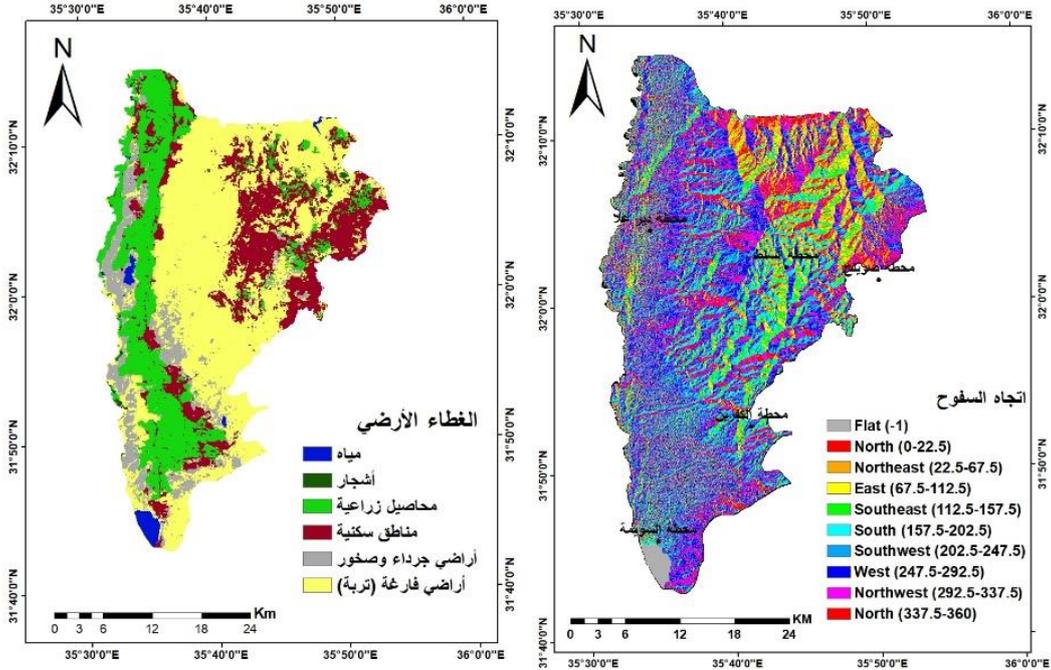
الشكل (2): نطاق الارتفاع في منطقة الدراسة
المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على DEM

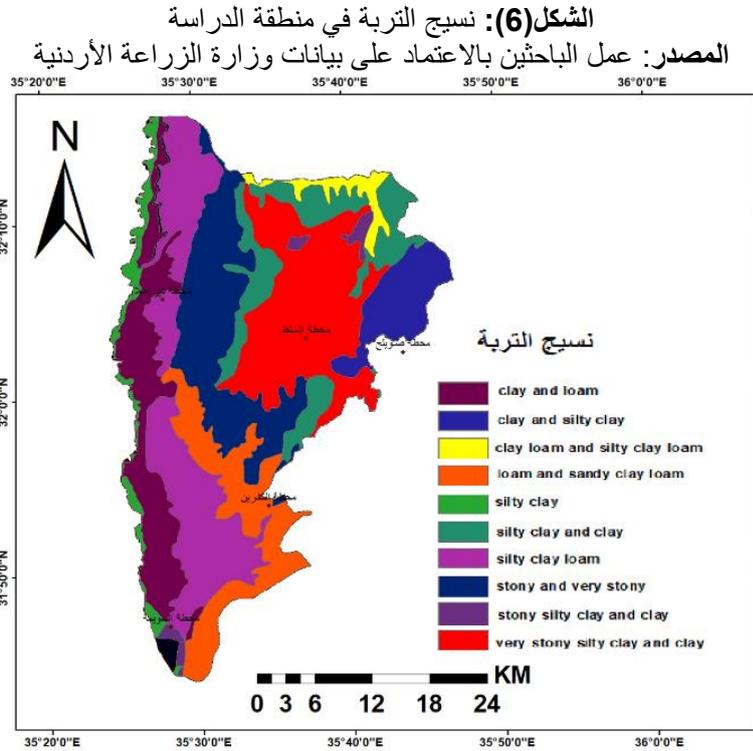
الشكل (3): درجات الانحدار في منطقة الدراسة
المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على DEM



الشكل (4): اتجاه السفوح في منطقة الدراسة
المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على DEM

الشكل (5): استعمالات الأرض والغطاء الأرضي في منطقة الدراسة
المصدر: عمل الباحثين باستخدام مرئيات Landsat_8





10. منهجية الدراسة والبيانات المستخدمة

اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي؛ لوصف ظواهر محافظة البلقاء، والخصائص الطبيعية والديموغرافية، من حيث الموقع، والارتفاع، والانحدار، والاتجاه، بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) Digital Elevation Model وإعداد الموازنة المائية لفترة تمتد لاثنتين وثلاثين عاماً (1990-2021) بالاعتماد على بيانات المحطات المناخية الواقعة ضمن حدود محافظة البلقاء وهي (محطة السلط، ومحطة دير علا، ومحطة الكفرين، ومحطة السويمة) ومحطة صويلح كمحطة إضافية؛ لقرب المحطة من محافظة البلقاء، ولتشابه الظروف المناخية بصورة كبيرة مع محطة السلط، حيث تم الاعتماد في دراسة العناصر المناخية لمحطات (صويلح، السلط، دير علا) على البيانات المناخية من المجالات المناخية التي تصدرها دائرة الأرصاد الجوية، وبيانات وزارة المياه والري للسنوات التي لم يتوفر لها بيانات في هذه المجالات المناخية، أما بالنسبة للبيانات المناخية لمحطتي الكفرين والسويمة، فقد تم الحصول على البيانات المناخية لها من خلال أحد تطبيقات الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء NASA، حيث توفر إمكانية الحصول على عنصري درجات الحرارة والأمطار بالاعتماد على الأقمار الصناعية بشكل دقيق وقريب من الواقع، يمكن الاعتماد عليها لإجراء الدراسات المناخية، وأيضاً اعتمدت الدراسة على البيانات الصادرة عن المؤسسات، والجهات الحكومية الرسمية، ومراجعة الأدبيات والدراسات السابقة ذات التخصصات المشابهة لموضوع الدراسة؛ لفهم العلاقات المؤثرة والمتأثرة بالعناصر والمدخلات الرئيسية في موضوع البحث وتحليلها، واستخدمت الدراسة المنهج التجريبي من خلال الاعتماد على بيانات المرئيات الفضائية من القمر الصناعي Landsat-8,7,5 ومعالجتها في بيئة برنامج ENVI 5.3

وبرنامج ARC MAP 10.7 لدراسة مؤشر NDMI وإعداد الخرائط المتعلقة وتحليلها بالتوافق مع العناصر المناخية وعناصر الموازنة المائية لفترة الدراسة للوصول إلى النتائج المرجوة من الدراسة.

11. البيانات الأولية المستخدمة في الدراسة:

يوضح الجدول (1) البيانات الأولية التي اعتمدها الباحثان في الدراسة، والذي يمثل نوع البيانات ومصادر البيانات.

الجدول (1): البيانات التي استخدمت في الدراسة

نوع البيانات	المصدر	الفترة الزمنية
نموذج الارتفاع الرقمي (Dem)	https://.earthdata.nasa.gov	2021
خريطة التربة للمنطقة	وزارة الزراعة	2016
مرئيات فضائية	Landsat-8 and Landsat 4-5 PATH (174),ROW(37,38,39)	2021-1990
البيانات السكانية	دائرة الإحصاءات العامة	2015
التقسيمات الإدارية	وزارة الداخلية	2021
البيانات المناخية (الأمطار، الحرارة)	دائرة الأرصاد الجوية	2021-1990

المصدر: عمل الباحثين.

11.1 طريقة إعداد الموازنة المائية:

يقصد بالموازنة المائية Soil Moisture Balance، التوازن الديناميكي ما بين كميات المياه المضافة للتربة من خلال الأمطار والري، وما بين المفقود منها من خلال التبخر من الشمس، والنتج من النباتات، والجريان السطحي. (شهادة، 1983) حيث يمكن المقارنة بين كميات التساقط على حوض مائي معين أو منطقة معينة من سطح الأرض، وأشكال التحول، والفقد المائي الذي تشكله المياه بالتبخر، والتسرب، والجريان، وغيرها. وقد تم الاعتماد على نموذج ثورنثويت وماذر Thornthwaite and Mather, 1955 لإعداد الموازنة المائية لمحافظة البلقاء بالاعتماد على بيانات الحرارة والأمطار للمحطات المناخية (محطة صويلح، ومحطة السلط، ومحطة دير علا، ومحطة الكفرين، ومحطة السويمة) للفترة الممتدة ما بين (1990-2021)م. وتعد طريقة Thornthwaite and Mather 1955 من أكثر الطرق المستخدمة لحساب الموازنة المائية، والتي يمكن من خلالها تقدير التبخر الحقيقي، والعجز، والفائض المائي في التربة، وتحديد الاستخدام للأرض، وبالتالي الوصول إلى التخطيط الجيد. (Dourado-Neto, et al, 2010). حيث درست عناصر الموازنة المائية للفترة 1990-2021 ككل من حيث التباين المكاني في محافظة البلقاء؛ للوقوف على الوضع المائي في منطقة الدراسة.

11.2 طريقة حساب معامل الرطوبة (NDMI) وتصنيفه

يعبر معامل الرطوبة NDMI عن مستوى الرطوبة في الغطاء النباتي، ويوثق حالات الإجهاد المائي في المحاصيل الزراعية، وتتحكم كمية الماء المتوفرة في بنية الأوراق الداخلية إلى حد كبير في الانعكاس الطيفي في نطاق الأشعة SWIR للطياف الكهرومغناطيسي. وبالتالي يرتبط انعكاس SWIR ارتباطاً سلبياً بمحتوى الماء في الأوراق، ويستخدم معامل NDMI لتقييم محتوى الرطوبة في الغطاء النباتي، ويعتبر معامل NDMI مؤشراً جيداً لقياس الرطوبة في الغطاء النباتي على سطح الأرض، وتتراوح قيم معامل NDMI بين (-1 و +1) وتزداد قيمته بازدياد الرطوبة، فكلما كانت قيم NDMI عالية تقترب من (1) صحيح تشير إلى التشبع بالمياه، وعلى العكس من ذلك تماماً، فكلما زاد الإجهاد المائي للغطاء النباتي انخفضت معها قيمة المؤشر واقتربت من (-1).

ويعبر عن الصيغة الرياضية لمعامل الخضرة (NDMI) بالمعادلة التالية:

$$NDMI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$$

(Keqi Zhang, et all, 2016)

واعتمدت الدراسة لتفسير قيم معامل الرطوبة (NDMI) على تصنيف شركة Agriculus Professional Academy الإيطالية، التي أنشئت بهدف تدريب المهندسين الزراعيين، والخبراء الزراعيين، والفنيين الزراعيين، وغيرهم من المهنيين في القطاع الذين يرغبون في تحسين الممارسات الزراعية على النحو التالي:

الجدول (2): تفسير قيم معامل الرطوبة NDMI

تفسير القيمة	معامل الرطوبة (NDMI)
أراضي جرداء (لا يوجد رطوبة)	-1 – -0.8
غطاء نباتي غائب تقريباً	-0.8 – -0.6
غطاء نباتي منخفض جداً	-0.6 – -0.4
غطاء نباتي منخفض.	-0.4 – -0.2
غطاء نباتي متوسط أو منخفض، إجهاد مائي مرتفع	-0.2 – 0
غطاء نباتي متوسط، إجهاد مائي مرتفع أو غطاء نباتي منخفض، إجهاد مائي منخفض	0 – 0.2
غطاء نباتي متوسط الارتفاع، إجهاد مائي مرتفع أو غطاء نباتي متوسط، إجهاد مائي منخفض	0.2 – 0.4
غطاء نباتي مرتفع، لا يوجد إجهاد مائي	0.4 – 0.6
غطاء نباتي مرتفع جداً، لا يوجد إجهاد مائي	0.6 – 0.8
غطاء نباتي كامل، لا يوجد إجهاد مائي	0.8 – 1.0

المصدر: تصنيف شركة Agriculus Professional Academy الإيطالية، 2022.

وفي هذه الدراسة تم حساب معامل NDMI في محافظة البلقاء لـ 4 فترات (1990، 2000، 2010، 2021) فأخذت حالة دراسية كل 10 سنوات، وعمل موازنة مائية منفصلة لكل سنة من هذه السنوات؛ لمعرفة التغيرات التي تحدث على معامل NDMI وعناصر الموازنة المائية في منطقة الدراسة.

12. التحليل والمناقشة

ما مقدار التباين المكاني لعناصر الموازنة المائية في محافظة البلقاء؟

تم الاعتماد على عملية الموازنة المائية على المتوسطات الشهرية والسنوية للأمطار، ودرجات الحرارة في محافظة البلقاء؛ لتحليل وفهم عناصر الموازنة المائية من رطوبة التربة، والتبخر الحقيقي، والتبخر الكامن، والجريان المائي، وبالتالي تقدير الفائض والعجز المائي في محافظة البلقاء، حيث تم دراسة عناصر الموازنة المائية في محافظة البلقاء للفترة 1990-2021 على النحو التالي:

12.1 معدل الهطول المطري Rainfall

بلغ المتوسط السنوي لمجموع الهطول المطري للفترة الممتدة ما بين 1990-2021 أعلاه في محطة السلط، وسجل 522.9 ملم، يليها محطة صويلح بمعدل 484.1 ملم، وتتناقص كميات الهطول المطري كلما اتجهنا إلى الجنوب الغربي من محافظة البلقاء، حيث سجل أدنى متوسط للهطول المطري في محطة السويمة بمعدل 132.7 ملم، وعند تحليل المتوسط الشهري للهطول المطري تبين أن أشهر كانون أول، وكانون ثاني، وشباط سجلت أعلى متوسط للهطول المطري لجميع المحطات المناخية، في حين أن أدنى هطول مطري كان في أشهر تموز، وأب، حيث كان معدوماً في هذه الأشهر لجميع محطات الدراسة. وعند دراسة المجموع السنوي للهطول المطري في محافظة البلقاء، يتبين أن عام 1992 سجل أعلى مجموع للهطول المطري في جميع محطات الدراسة بمعدل (500.6، 952.8، 882.7، 697.8، 293.7) ملم في محطات دير علا، وصويلح، والسلط، والكفرين، والسويمة، على التوالي، وسجل عام 1995 أدنى مجموع للهطول المطري في جميع محطات الدراسة حيث بلغ (117.9، 225.5، 232.2، 209.1، 98.0) ملم في محطات دير علا، وصويلح، والسلط، والكفرين، والسويمة على التوالي. الشكل (7).

12.2 متوسط درجات الحرارة Temperature

بالرجوع إلى بيانات المحطات المناخية في محافظة البلقاء يتبين أن درجات الحرارة في محافظة البلقاء كان لها سلوك متشابه نسبياً في جميع المحطات المناخية للفترة 1990-2021، وعند تحليل المتوسط الشهري لدرجات الحرارة في محافظة البلقاء، تبين أن الأشهر من حزيران وحتى أيلول شهدت ارتفاعاً في درجات الحرارة في جميع المحطات المناخية، وكانت درجات الحرارة تشهد انخفاضاً ملحوظاً في شهر تشرين ثاني وحتى آذار، كما سجل شهر آب أعلى قيمة لمتوسط درجات الحرارة في جميع المحطات المناخية، حيث بلغ (32.8، 24.9، 24.9، 31.6، 33.2)° في محطات دير علا، وصويلح، والسلط، والكفرين، والسويمة على التوالي. وسجل عام 1992 أدنى متوسط سنوي لدرجات الحرارة في جميع المحطات المناخية، حيث شهد -كما سبق- عام 1992 أعلى مجموع للهطول المطري، حيث بلغ المتوسط الشهري لدرجات الحرارة في عام 1992 (22.4، 14.2، 15.2، 21.7، 23.6)° في محطات دير علا، وصويلح، والسلط، والكفرين، والسويمة على التوالي؛ في حين سجل عام 2010 أعلى متوسط سنوي لدرجات الحرارة في محطات دير علا، والكفرين، والسويمة حيث بلغ (26.1، 25.2، 27.1)° على التوالي وعام 2009 في محطة صويلح، والسلط مسجلاً (18.8، 17.9)° على التوالي. الشكل (8).

12.3 التبخر/النتح الحقيقي The Actual Evapotranspiration

هو كمية المياه المفقودة من التربة والنباتات في حالة رطوبتها الطبيعية، وهو في الغالب أقل من أو يساوي التبخر/النتح الكامن. (Sentelhas, 2008) سُجل أعلى معدل للتبخر الحقيقي في شهر حزيران في محطتي صويلح والسلط وبلغ (84.2، 86.6) ملم على التوالي، وسجل شهر أيار أعلى معدل للتبخر الحقيقي في محطتي دير علا والكفرين بمعدل (105.6، 97.2) ملم على التوالي، في حين سجل شهر نيسان أعلى معدل للتبخر الحقيقي في محطة السويمة بمعدل (79) ملم على التوالي. وشهد شهر أيلول أدنى معدل للتبخر الحقيقي في محطات دير علا، والكفرين، والسويمة بمعدل (3.6، 2.6، 0.2) ملم على التوالي، وشهد شهر كانون ثاني أدنى معدل للتبخر الحقيقي في محطتي صويلح والسلط بمعدل (11.7، 14.2) ملم. الشكل (9).

12.4 التبخر/النتح الكامن Potential Evapotranspiration

هو عبارة عن كمية المياه المفقودة من التربة بالتبخر ومن النبات بالنتح. (السيد، 2003) سُجل أعلى معدل للتبخر الكامن في شهر تموز في محطات صويلح، والسلط، والكفرين، بمعدل (145.1، 144.7، 290) ملم على التوالي، وشهر آب في محطتي دير علا والسويمة بمعدل (338.7، 369.9) ملم على التوالي؛ ويعود ذلك لارتفاع درجات الحرارة في هذين الشهرين في محطات الدراسة، وسجل أدنى معدل للتبخر الكامن في شهر كانون ثاني في جميع محطات الدراسة حيث بلغ (11.7، 14.2، 19.8، 17.4، 22.5) ملم في محطات صويلح، والسلط، ودير علا، والكفرين، والسويمة على التوالي؛ ويعود ذلك لارتفاع معدل الهطول المطري في هذا الشهر خلال الفترة 2021-1990 في محافظة البلقاء، وزيادة نسبة التغميم في هذا الشهر من السنة، وانخفاض عدد ساعات النهار. الشكل (10).

12.5 رطوبة التربة: Soil Moisture

عند تحليل نتائج الموازنة المائية للفترة 2021-1990 في محافظة البلقاء، تبين أن رطوبة التربة ترتبط ارتباطاً وثيقاً بمعدلات الهطول المطري ودرجات الحرارة، حيث سُجلت أعلى قيم لرطوبة التربة في الفترة الممتدة ما بين كانون أول وحتى نيسان في جميع محطات الدراسة، وهي الأشهر التي تشهد ارتفاعاً في معدلات الهطول المطري في منطقة الدراسة، وتتناقص رطوبة التربة تدريجياً في شهر أيار حتى شهر تشرين ثاني، حيث تبدأ درجات الحرارة بالارتفاع في هذه الأشهر من السنة. وسجل المتوسط السنوي لرطوبة التربة في محافظة البلقاء أعلاه في محطة السلط حيث بلغ 281.9 ملم، يلها محطة صويلح بمعدل 281.5 ملم، في حين سُجلت محطة السويمة أدنى معدل لرطوبة التربة بمعدل 58 ملم؛ ويعود ذلك لارتفاع درجات الحرارة، وانخفاض معدلات الهطول المطري في هذه المحطة. الشكل (11).

12.6 العجز المائي Water Deficit

يكون العجز المائي عندما يكون الفرق بين التبخر/النتح الكامن ومجموع الأمطار الشهري سالباً؛ ويحدث العجز المائي في الأشهر التي تتناقص فيها كميات الهطول المطري، وتشهد ارتفاعاً في درجات الحرارة، ويبدأ العجز المائي في محافظة البلقاء في شهر نيسان في جميع المحطات المناخية، وهي الأشهر التي يكون الفرق بين الهطول المطري والتبخر/النتح سالباً؛ إذ إنّ هذه الأشهر هي بداية تسجيل ارتفاع درجات الحرارة في المنطقة، ويبدأ العجز المائي بالتزايد تدريجياً في محافظة البلقاء، حيث تصل ذروته في شهر آب في جميع المحطات المناخية، وسجل المتوسط السنوي للعجز المائي في محافظة البلقاء (366.2، 367.6، 1304.4، 1182.3، 1655.2) ملم في محطات صويلح، والسلط، ودير علا، والكفرين،

والسوية على التوالي، حيث سجل أعلى قيمة له في محطتي دير علا والسوية؛ ويعود السبب في ذلك إلى ارتفاع درجات الحرارة في هاتين المحطتين. الشكل (12).

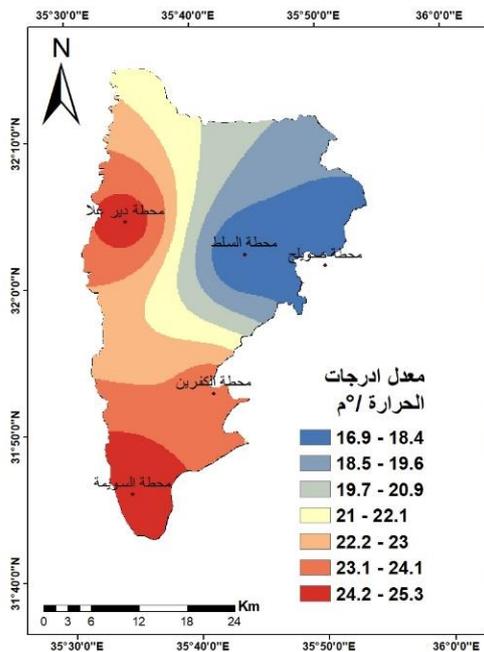
12.7 الفائض المائي Water surplus

يحدث الفائض المائي عندما يكون الفرق بين التبخر/النتح الكامن ومجموع الأمطار الشهري موجباً، حيث إن أي زيادة في كمية التساقط تعدّ فائضاً مائياً، ويحدث الفائض المائي في الأشهر التي تشهد ارتفاعاً في الهطول المطري وانخفاضاً في درجات الحرارة، حيث يبدأ الفائض المائي خلال الموسم المطري في محافظة البلقاء في شهر كانون أول في محطتي دير علا والكفرين، وشهر تشرين ثاني في محطتي صويلح والسلط، وينتهي الفائض المائي في محافظة البلقاء في شهر شباط في محطة دير علا، وشهر آذار في محطتي صويلح والسلط، ويقتصر الفائض المائي على شهرين فقط في محطة السوية، وهما كانون ثاني وشباط؛ وذلك بسبب انخفاض معدلات الهطول في هذه المحطة، وارتفاع درجات الحرارة بشكل أكبر من باقي المحطات، وبلغ المتوسط الشهري للفائض المائي في محافظة البلقاء في محطات صويلح، والسلط، ودير علا، والكفرين، والسوية (27.8، 29.6، 6، 14.3، 0) ملم على التوالي. الشكل (13).

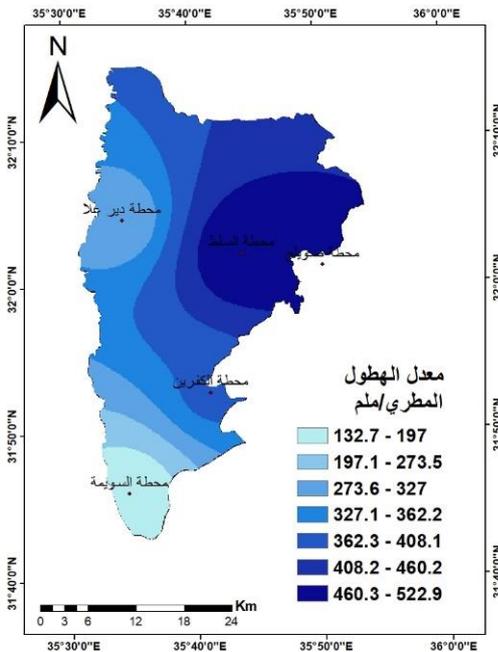
12.8 الجريان المائي Surface Runoff

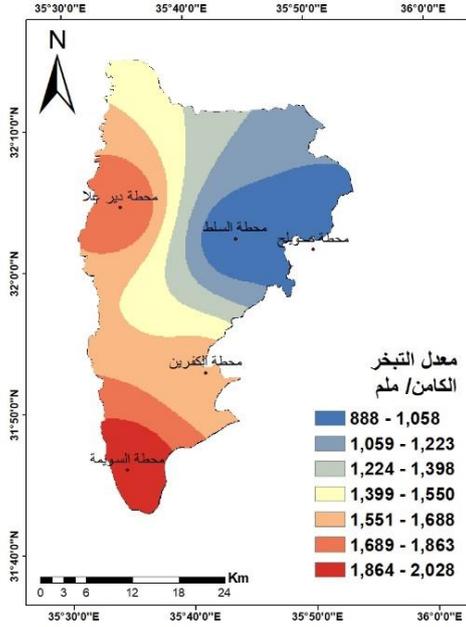
يبدأ الجريان المائي خلال الموسم المطري في محافظة البلقاء في شهر كانون أول في محطتي دير علا والكفرين، وكانون ثاني في محطة السوية، وتشرين الثاني في محطتي صويلح والسلط، وهي الأشهر التي تبدأ فيها التربة بالنتشبع؛ وذلك بسبب زيادة الهطول المطري، وانخفاض درجات الحرارة، ويبدأ الجريان المائي بالانحسار في شهر آذار في محطتي دير علا والسوية، وشهر نيسان في محطات صويلح، والسلط، والكفرين. الشكل (14).

الشكل (8): معدلات درجة الحرارة للفترة 1990-2021

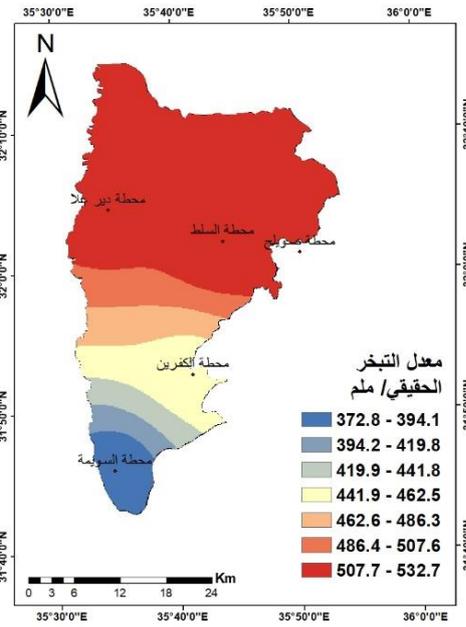


الشكل (7): معدلات الهطول المطري للفترة 1990-2021

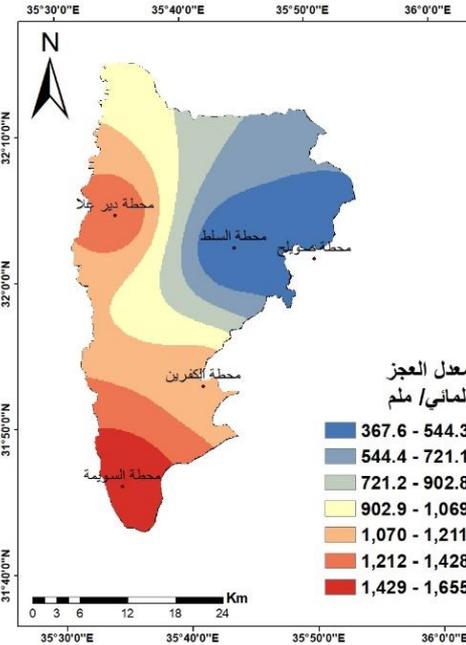




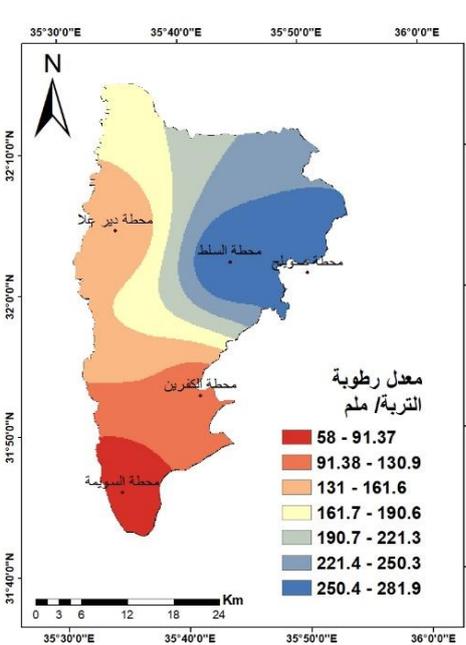
الشكل (10): معدلات التبخر الكامن للفترة 1990-2021



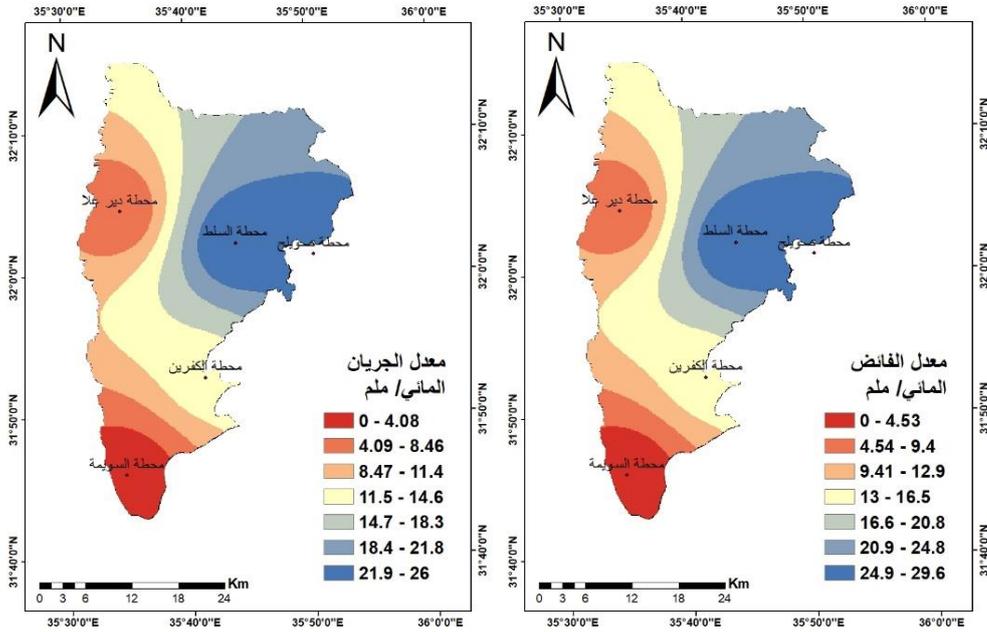
الشكل (9): معدلات التبخر الحقيقي للفترة 1990-2021



الشكل (12): معدلات العجز المائي للفترة 1990-2021



الشكل (11): معدلات رطوبة التربة للفترة 1990-2021



الشكل (14): معدلات الجريان المائي للفترة 1990-2021

الشكل (13): معدلات الفائض المائي للفترة 1990-2021

المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على بيانات دائرة الأرصاد الجوية ووزارة المياه والري

12.9 نتائج معامل الرطوبة NDMI مقارنة بعناصر الموازنة المائية لعام 1990

ما مقدار التباين المكاني لمعامل NDMI في محافظة البلقاء؟

ما مقدار التوافق بين معامل NDMI وعناصر الموازنة المائية؟

تتراوح قيم معامل NDMI في محافظة البلقاء لعام 1990 ما بين (-0.5، 0.7) حيث يتبين من خلال تحليل نتائج الموازنة المائية وتحليل مؤشرات الدراسة ارتباط معامل NDMI ارتباطاً وثيقاً بالعناصر المناخية من حيث معدلات الأمطار، ومعدل رطوبة التربة، حيث بلغ المجموع السنوي لمعدلات الأمطار في محطة صويلح والسلط (367.1، 338.4) ملم على التوالي، وبلغ معدل رطوبة التربة في محطتي صويلح والسلط (292.3، 282.5) ملم على التوالي، والذي يعكس ارتفاع قيم معامل NDMI بشكل ملحوظ في هذه المناطق، ويرتبط معامل NDMI بعلاقة عكسية بدرجات الحرارة، حيث يرتفع في المناطق التي تنخفض فيها درجات الحرارة حيث سجل أعلى قيم له في مناطق صويلح، التي سجلت درجات الحرارة فيها (16)° لعام 1990 وأيضاً في محطة السلط والتي سجلت درجات الحرارة فيها (16.6)° لعام 1990، وينعكس ذلك على عناصر الموازنة المائية بصورة واضحة حيث ارتبط معامل NDMI بمعدلات الفائض المائي، ورطوبة التربة، والجريان المائي، حيث سجلت قيمًا مرتفعة في هذه المحطات؛ إذ بلغ الفائض المائي لعام 1990 في محطتي صويلح والسلط (16.9، 16.3) ملم على التوالي، وسجل الجريان المائي (18.4) ملم في المحطتين كليهما. كما يسجل معامل NDMI قيمًا مرتفعة في مناطق دير علا، التي كان معدل الأمطار فيها (205.9) ملم، وفي المناطق الغربية على امتداد محافظة البلقاء تقريباً؛ بسبب انتشار المزارع، والأراضي الزراعية التي تعتمد على الزراعة المروية في مناطق دير علا، والكرامة، والشونة الجنوبية.

تنخفض قيم معامل NDMI بالاقتراب من محطتي الكفرين والسويمية، حيث ترتفع درجات الحرارة في هذه المحطات، وتنخفض معدلات الأمطار فيها، والذي بدوره يؤثر على عناصر الموازنة المائية الأخرى، حيث سجلت معدلات الهطول المطري في محطتي الكفرين والسويمية لعام 1990 (207، 127.5) ملم على التوالي، في حين سجلت هذه المناطق أعلى معدل لدرجات الحرارة لعام 1990 حيث سجلت درجات الحرارة في محطتي الكفرين والسويمية (22.7° ، 24.6°) على التوالي، وتراوحت قيم معامل NDMI ما بين (-0.5 - 0)، ويفسر ذلك تسجيل أدنى القيم لعناصر الموازنة المائية في هذه المحطات، حيث سجل المعدل السنوي لرطوبة التربة لعام 1990 في محطتي الكفرين والسويمية (114.8، 59.3) ملم على التوالي، في حين سجل الفائض المائي (0) في المحطتين كليهما، وسجل العجز المائي (991.9، 1379.3) ملم على التوالي، وسجل الجريان المائي (2.1، 0) على التوالي. الشكل (15).

12.10 نتائج معامل الرطوبة NDMI مقارنة بعناصر الموازنة المائية لعام 2000:

بلغت قيم معامل NDMI لعام 2000 في محافظة البلقاء أعلاها في المناطق التابعة لمحطات صويلح، والسلط، ودير علا، ومناطق الأغوار الجنوبية، والأراضي التي تغذيها السدود في المنطقة، حيث بلغت قيمة معامل NDMI في هذه المناطق ما بين (0.1 - 0.53)؛ وذلك بسبب ارتفاع معدل الهطول المطري وانخفاض درجات الحرارة في محطتي صويلح والسلط، حيث بلغ المعدل السنوي للهطول المطري في محطتي صويلح والسلط لعام 2000 (467.4، 406.9) ملم على التوالي، وبلغ المعدل السنوي لدرجات الحرارة (15.8، 16.9)° على التوالي، ومن خلال تحليل نتائج الموازنة المائية لمحطات صويلح، والسلط، ودير علا يتبين ارتفاع معدلات رطوبة التربة فيها، حيث بلغ المعدل السنوي لرطوبة التربة في محطات صويلح والسلط ودير علا (274.5، 271.5، 133.2) ملم على التوالي، وسجل المعدل السنوي للفائض المائي (28.8، 22.3، 13.2) ملم على التوالي، وسجل المعدل السنوي للتبخير الحقيقي (484.6، 509، 511) ملم على التوالي، وسجل المعدل السنوي للعجز المائي (360.5، 387، 1283.6) ملم على التوالي. وتتناقص قيم معامل NDMI في مناطق الكفرين والسويمية، حيث بلغ المعدل السنوي للهطول المطري في محطتي الكفرين والسويمية لعام 2000 (403.9، 133.9) ملم على التوالي، وبلغ المعدل السنوي لدرجات الحرارة (22.9° ، 24.7°) على التوالي، في حين سجل المعدل السنوي للتبخير الحقيقي (420.3، 340.4) ملم على التوالي، وسجل المعدل السنوي لرطوبة التربة (108.5، 57.5) ملم على التوالي، وسجل المعدل السنوي للفائض المائي (0، 19.4) ملم على التوالي، وسجل المعدل السنوي للعجز المائي (1144.9، 1578.8) ملم على التوالي، وسجل المعدل السنوي للجريان المائي (21.2، 0) ملم على التوالي. حيث تراوحت قيم معامل NDMI في المناطق التابعة لمحطتي الكفرين والسويمية ما بين (-0.3 - 0.03). الشكل (16).

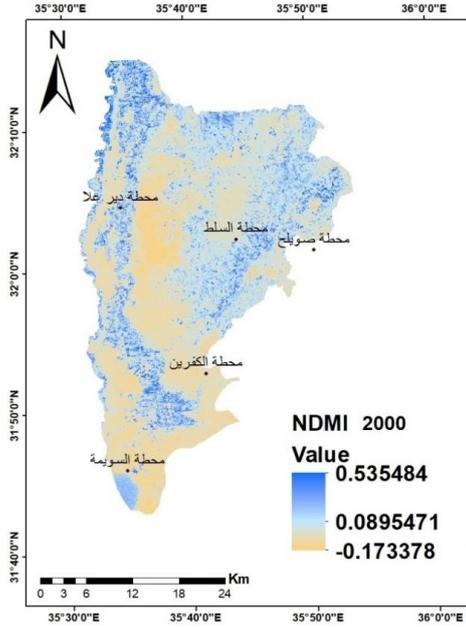
12.11 نتائج معامل الرطوبة NDMI مقارنة بعناصر الموازنة المائية لعام 2010:

سجلت قيم معامل NDMI في محافظة البلقاء لعام 2010 أعلاها في مرتفعات السلط، وزبي، ومرصع بالإضافة لمناطق ماحص، والفحيص، وترتفع قيم معامل NDMI أيضاً في دير علا، والكرامة، والشونة الجنوبية، حيث بلغ معدل الهطول المطري لعام 2010 في محطات صويلح والسلط ودير علا (396.5، 422.5، 165.2) ملم على التوالي، وبلغ المعدل السنوي لدرجات الحرارة (16° ، 17.6° ، 26.1°) على التوالي، وبلغ المعدل السنوي لرطوبة التربة

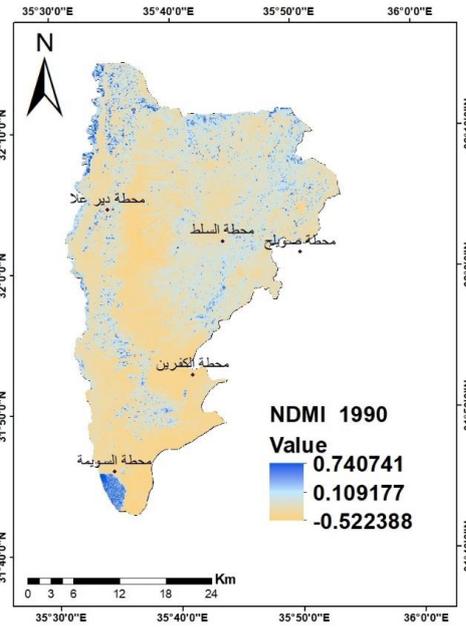
(279.1، 273.1، 131.1) ملم على التوالي، وبلغ المعدل السنوي للفائض المائي (23.6، 24.4، 0) ملم على التوالي، وبلغ المعدل السنوي للجريان المائي (21.9، 23.2، 0) ملم على التوالي، وبلغ المعدل السنوي للتبخر الحقيقي (476.7، 504.2، 567.5) ملم على التوالي، وبلغ المعدل السنوي للعجز المائي (359.6، 410.5، 1678.9) ملم على التوالي، وتراوحت قيم معامل NDMI في هذه المناطق ما بين (0.15 - 0.5)، في حين سجل معامل NDMI أدنى قيم له في مناطق الكفرين، والسويمة، والمناطق القريبة من البحر الميت، حيث بلغ المعدل السنوي لدرجات الحرارة في محطتي الكفرين والسويمة لعام 2010 (25.2، 27.1)° على التوالي، وبلغ المعدل السنوي للتبخر الحقيقي (473، 446.4) ملم على التوالي، وبلغ المعدل السنوي للهطول المطري (322.9، 123) ملم على التوالي، وبلغ المعدل السنوي للفائض المائي (8.3، 0) ملم على التوالي، وبلغ المعدل السنوي لرتطوبة التربة (106.2، 57) ملم على التوالي، وبلغ المعدل السنوي للعجز المائي (1508.1، 2109.7) ملم، وبلغ المعدل السنوي للجريان المائي (8.7، 0) على التوالي، وتراوحت قيم معامل NDMI في هذه المناطق ما بين (-0.4 - -0.1). الشكل (17).

12.12 نتائج معامل الرطوبة NDMI مقارنة بعناصر الموازنة المائية لعام 2021:

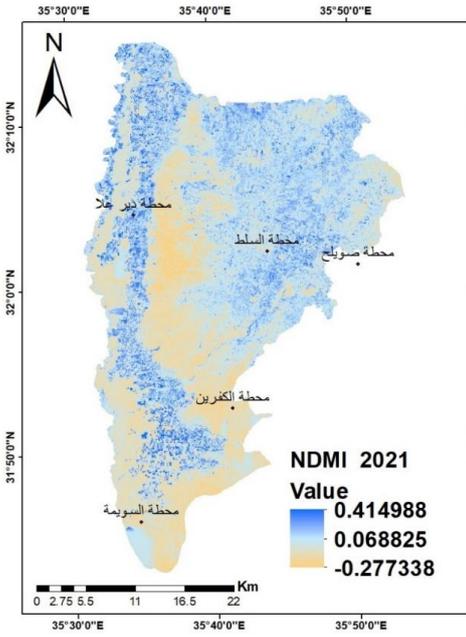
بلغت قيم معامل NDMI لعام 2021 أعلاها في مناطق السلط، وزبي، ومرصع، وعين الباشا، والأراضي الزراعية في دير علا، والكرامة، والأغوار الجنوبية. وتراوحت قيم معامل NDMI فيها ما بين (0.08 - 0.4) ويتبين من خلال الموازنة المائية لمحافظة البلقاء لعام 2021 أن المعدل السنوي للهطول المطري لمحطات صويلح والسلط ودير علا بلغت (451.3، 495.0، 317.2) ملم على التوالي، وبلغ المعدل السنوي لدرجات الحرارة (17.3°، 17.5°، 25.2°) على التوالي، وبلغ المعدل السنوي للفائض المائي (20.3، 29.5، 14.3) ملم على التوالي، وبلغ المعدل السنوي لرتطوبة التربة (273.9، 276.4، 130.3) ملم على التوالي، وبلغ المعدل السنوي للجريان المائي (17، 24.5، 14.3) ملم على التوالي، وبلغ المعدل السنوي للتبخر الحقيقي (505، 512.3، 512.1) ملم على التوالي، وبلغ المعدل السنوي للعجز المائي (402، 396.1، 1512.6) ملم على التوالي، في حين سجلت قيم معامل NDMI أدناها في مناطق الكفرين، والسويمة، والبحر الميت، وتراوحت ما بين (-0.2 - 0.03) حيث بلغ المعدل السنوي للهطول المطري في محطتي الكفرين والسويمة (384.3، 113.2) ملم على التوالي، وبلغ المعدل السنوي لدرجات الحرارة (24.5، 26.4)° على التوالي، وبلغ المعدل السنوي للفائض المائي (21.3، 0) ملم على التوالي، وبلغ المعدل السنوي لرتطوبة التربة (104.6، 56.1) ملم على التوالي، وبلغ المعدل السنوي للجريان المائي (17.6، 0) ملم على التوالي، وبلغ المعدل السنوي للتبخر الحقيقي (445.1، 394.9) ملم على التوالي، وبلغ المعدل السنوي للعجز المائي (1369.9، 1955.3) ملم على التوالي. الشكل (18).



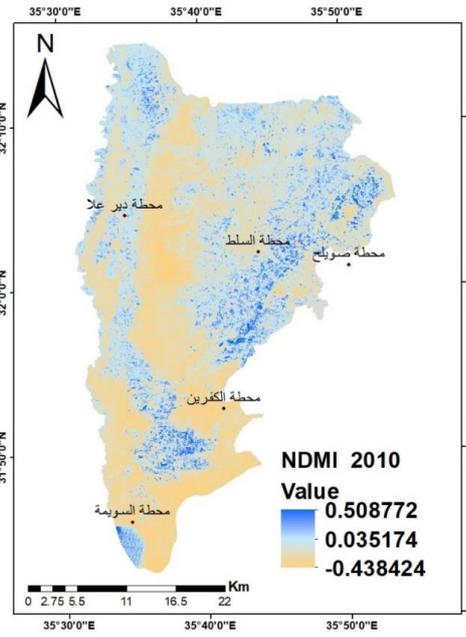
الشكل (16): قيم معامل NDMI للعام 2000



الشكل (15): قيم معامل NDMI للعام 1990



الشكل (18): قيم معامل NDMI للعام 2021



الشكل (17): قيم معامل NDMI للعام 2010

المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على المرئيات الفضائية للقمر الصناعي Landsat-8

13. الخاتمة

يحتل الأردن موقعًا متميزًا بين القارات، ميّزه بسماتٍ خاصة جعلت له دورًا مهمًا في المنطقة، ونقطة اتصال استراتيجية للمنطقة، وتعد محافظة البلقاء من المواقع الاستراتيجية المهمة في المملكة، وتبلغ مساحتها 1128.4 كم، ويبلغ عدد سكانها المقدر حتى نهاية عام 2021 (569500) نسمة. وتتميز المنطقة بالتنوع التضاريسي والمناخي؛ مما يعطي المنطقة ميزة زراعية نسبية تساعدها على التنوع في الزراعات على مدار العام. اعتمدت الدراسة على مجموعه من البيانات منها: نموذج الارتفاع الرقمي، وخريطة للتربة، واعتمدت على البيانات الهيدرولوجية التي توفرها المحطات المناخية، واعتمدت على الخرائط الطبوغرافية لتحديد درجة الانحدار والاتجاه لمنطقة الدراسة، وتم تحديد عدد سكان المنطقة بالاعتماد على البيانات السكانية التي توفرها دائرة الإحصاءات؛ حيث تُدرست الخصائص الطبيعية في منطقة الدراسة من حيث الخصائص المناخية، فبلغ أعلى معدل للهطول المطري للفترة 1990-2021 في محطة السلط بمعدل 522.9 ملم، وأدناها في منطقة السويمة بمعدل 132.7 ملم، وتباينت درجات الحرارة في منطقة الدراسة ما بين 25.3° في محطة السويمة، و19.8° في محطة صويلح، واحتوت منطقة الدراسة معظم نطاقات الارتفاع في الأردن، بلغ ارتفاع أدنى نقطة - 442م في منطقة البحر الميت، وبلغ ارتفاع أعلى نقطة 1109م في مرتفعات السلط، الذي أدى إلى تنوع الظروف المناخية في منطقة الدراسة، وشملت الدراسة درجات متنوعة من الانحدارات ما بين المناطق المستوية، والجبال، والمناطق شديدة الانحدار، التي كان لها دور أساسي في التحكم في استعمالات الأرض والغطاء الأرضي في منطقة الدراسة، حيث تراوحت استعمالات الأرض في منطقة الدراسة ما بين الاستعمال السكني، والأشجار، والأراضي الزراعية، واحتوت المنطقة على عدد من الأودية، مثل: وادي الحور، ووادي الرميمين، ووادي شعيب، التي لها دور كبير في رعد السدود بالمياه، وتمت دراسة نسيج التربة في منطقة الدراسة والخصائص المتعلقة بها من حيث السعة الحقلية، ونقطة الذبول، وكثافة الكتلة. واحتوت الدراسة على عدد من السدود المائية وهي (سد الكرامة، وسد وادي شعيب، وسد الكفرين) وأجزاء من سد الملك طلال والتي كان لها الأثر الواضح في تنمية القطاع الزراعي في المناطق الواقعة حولها.

قامت الدراسة على تحليل الوضع المائي في المنطقة باستخدام الموازنة المائية، وبالاعتماد على نموذج Thornthwaite and Mather, 1955 وتحليل عناصر الموازنة المائية، ومعرفة التوزيع المكاني لها في المنطقة، حيث سجلت محطات صويلح والسلط أعلى معدلات للهطول المطري، والذي بدوره ينعكس على ارتفاع قيم الفائض المائي، ورطوبة التربة، والجريان المائي، في حين سجلت محطة السويمة أدنى معدلات للهطول المطري، وأعلى معدلات لدرجات الحرارة، الذي يفسر انخفاض معدلات الفائض المائي، ورطوبة التربة، والجريان المائي، وارتفاع معدلات العجز المائي، والتبخّر الحقيقي والكامن في المناطق التابعة لهذه المنطقة. يعكس معامل الرطوبة NDMI محتوى الأرض من الرطوبة سواء التربة، أو الغطاء النباتي حيث سجلت أعلى قيم لها في المناطق التي سجلت أعلى معدلات من الهطول المطري، والفائض المائي، والجريان المائي، في حين ارتبط عكسيًا مع درجات الحرارة، والتبخّر الحقيقي، والكامن، والعجز المائي في منطقة الدراسة، وبينت الدراسة فاعلية وإمكانية الاعتماد على نموذج Thornthwaite and Mather, 1955 في إعداد الموازنة المائية، وتحليل الوضع المائي لأي منطقة، والاعتماد على معامل الرطوبة NDMI ومعالجته في بيئة GIS &

RS لدراسة المحتوى الرطوبي في التربة والغطاء النباتي، وبالتالي إمكانية استخدامه في الدراسات المشابهة، من حيث الدراسات المناخية، والزراعية، ومتابعة التسلسل الزمني للحرارة، والإجهاد المائي، وحالات الجفاف المستمرة في أي منطقة؛ وذلك بسبب سهولة الحصول على هذا النوع من البيانات. وسجل معامل الرطوبة NDMI أعلى معدلات له في محطات صويلح والسلط لارتفاع معدلات الهطول المطري فيها، وسجل قيمًا مرتفعة نسبيًا في المناطق التابعة لمحطة دير علا بسبب احتوائها على الأراضي الزراعية التي تعتمد على الري، وتستمد رطوبتها من السدود الموجودة في المنطقة، كسد الكرامة، وسد وادي شعيب، وسد الكفرين.

14. النتائج

1. تتلقى المنطقة معدلات هطول مطري جيدة يمكن استغلالها لتحسين القطاع الزراعي وتحسين إنتاجيته.
2. سجلت محطات صويلح والسلط أعلى معدلات من الهطول المطري، والفائض المائي، والجريان المائي، ورطوبة التربة، وأدنى معدلات من درجات الحرارة، والتبخّر الحقيقي، والكامن، والعجز المائي في المنطقة.
3. سجلت محطات الكفرين والسويمة أعلى معدلات درجات الحرارة، والتبخّر الحقيقي، والتبخّر الكامن، والعجز المائي، وأدنى معدلات من الهطول المطري، والفائض المائي، والجريان المائي، ورطوبة التربة في المنطقة.
4. ارتبط التوزيع المكاني لمعامل NDMI إيجابياً مع الهطول المطري، ورطوبة التربة، والفائض المائي، والجريان المائي في المنطقة.
5. ارتبط التوزيع المكاني لمعامل NDMI سلبياً مع درجات الحرارة المرتفعة، والتبخّر الحقيقي، والكامن، والعجز المائي.
6. عملت السدود المائية على زيادة محتوى المنطقة من الرطوبة وبالتالي زيادة قيم معامل NDMI.

15. التوصيات

1. الاعتماد على نموذج Thornthwaite and Mather, 1955 في دراسة الموازنة المائية وتحليل الوضع المائي في المناطق التي تمتاز بالتنوع المناخي وتشهد فروقات في معدلات الهطول المطري.
2. الاعتماد على معامل (Normalized Difference Moisture Index (NDMI) لدراسة المحتوى الرطوبي لتوافقه مع رطوبة التربة الناتجة عن النماذج الهيدرولوجية (الموازنة المائية) بشكل كبير.
3. الاعتماد على معامل NDMI في تحديد المناطق الصالحة للزراعة من حيث المحتوى الرطوبي للتربة.
4. الاهتمام بمشاركة الحصاد المائي وإنشاء السدود المائية وتنمية القائم منها لما لها الأثر الإيجابي على الوضع الزراعي في منطقة الدراسة.

16. قائمة المراجع:

16.1 المراجع العربية:

- السيد، ياسر. (2003). التبخر/النتح القياسي في جمهورية مصر العربية دراسة في الجغرافيا المناخية، مجلة الانسانيات، كلية الآداب، جامعة دمنهور، العدد16.
- زريقات. دلال. (2014). تغير الغطاء الأرضي في محافظة جرش بين عامي 1952-2009 باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، المجلة الأردنية للعلوم الاجتماعية، المجلد، 7، العدد1.
- الشلش. علي. (1985). جغرافية التربة، مطبعة جامعة البصرة، ط2، البصرة، العراق.
- عنانزة. علي. (1996). الموازنة المائية بناء على محطات الأمطار وكميات التبخر والنتح المحتملة في حوض وادي الكرك، مؤته للبحوث والدراسات، المجلد 11، العدد 5.
- المقبل. علي. (2002). التباين المكاني للموازنة المائية وأثرها على الغطاء النباتي في محافظة إربد، رسالة ماجستير، الجامعة الأردنية، عمان، الأردن.
- زيتون. محمد. (2016). تحليل الموازنة المائية للتربة في شمال الأردن للفترة-1970 (2009)، مجلة جامعة النجاح للأبحاث-العلوم الطبيعية، المجلد 30، العدد 1، ص ص. 205-232، 28ص.
- شحادة. نعمان. (1981). التوازن المائي في الأردن، المجلة الجغرافية العراقية، مجلد12، بغداد، العراق.
- وزارة الزراعة الأردنية. (2016). بيانات التربة في المنطقة، عمان، الأردن.
- دائرة الأرصاد الجوية. (2021). المجلات المناخية، عمان الأردن.
- وزارة المياه والري الأردنية. (2021). بيانات حرارية ومطرية، عمان، الأردن.
- وزارة الداخلية. (2021). التقسيمات الإدارية، عمان الأردن.
- دائرة الاحصاءات العامة. (2015). بيانات سكانية، عمان، الاردن.
- هادي، شيماء والجبوري، سلام، 2019، تأثير تغير درجات الحرارة في الرطوبة النسبية للمنطقة الوسطى من العراق، العراق، بغداد.
- الشيخ، عبلة، 2014، المناخ وأثره على زراعة الخضر في مناطق الاستصلاح الجديدة بالدلتا المصرية، دراسة في المناخ التطبيقي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة الأزهر، قسم الجغرافيا، مصر.
- الزبيدي، حليلة، 2014م، تقييم حالة الجفاف باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد "دراسة تطبيقية على المناطق الغربية لمحافظة الطائف بالمملكة العربية السعودية، مجلة الآداب والعلوم الاجتماعية، جامعة السلطان قابوس، عمان.

16.2 المراجع الأجنبية:

- Hazaymeh, k. & Hassan, Q. (2017). aremote sensing-based agricultural drought indicator and its implementation oversemi-arid region Jordan, article in journal of aride land.
- Sentelhas, p. & Santos, D. & Machado, R. (2008). water deficit and water surplus maps for brazil-based on FAO penman – monteith potential vapotranspiration, journal of applied seience, University of Taubate, brasil, vol3, no3.
- Nejad, M. & Zoratipour, A. (2009). Assessment of LST and NDMI indices using MODIS and Landsat images in Karun riparian forest, Journal of Forest Science, 65, (1): 27–32.
- ICRAF & UNEF, (2005). Potential of Rainfall Harvesting in Africa, A GIS Overview.
- Jin, S. & Sader, S. (2004). Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances, University of Maine, Remote Sensing of Environment, DOI:10.1016/j.rse.2004.10.012 United States.
- Sankey, T., Belmonte, A., Massey, R., Leonard, J. 2020. Regional-scale forest restoration effects on ecosystem resiliency to drought: a synthesis of vegetation an moisture trends on Google Earth Engine, Remote sensing in ecology and conservation, Volume 7, Issue 2 p. 259-274.
- Salehi, Bahram. 2017. temperature-vegetation-soil moisture dryness index (TVMDI), article in remote sensing of environment.
- Ahmad, M., Cho, g., Choi, k. 2022. Historical climate change impacts on the water balance and storage capacity of agricultural reservoirs in small ungauged watersheds, Journal of Hydrology: Regional Studies, Volume 41, 101114.
- Taloor, A., Manhas, D., Kothiyari, G. 2020. Retrieval of land surface temperature, normalized difference moisture index, normalized difference water index of the Ravi basin using Landsat data, Applied Computing and Geosciences, Volume 9, March 2021, 100051.
- Ji, L., Senay, G., Friedrichs, M., Schauer, M., Boiko, O. 2021. Characterization of water use and water balance for the croplands of Kansas using satellite, climate, and irrigation data, Journal of Agricultural Water anagement, Volume 256, 1 October 2021, 107106.
- Ibrahem, A., Koubaily, E., Thabeet, A. 2020. Assessment of suitable habitat of the natural regeneration C. Libani A. Richard in Slenfeh (Syria), The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, Volume 24, Issue 1, February 2021. Pages 163-171.
- Moreno-Fernández, D., Viana-Soto, A., Camarero, J., Zavala, M., Tijerín, J., García, M. 2021. Using spectral indices as early warning signals of forest dieback: The case of drought-prone Pinus pinaster forests, Science of The Total Environment, Volume 793, 1 November 2021, 148578.

- Mirza, J. & Gun-ho, C. & Kyung, c. 2022. Historical climate change impacts on the water balance and storage capacity of agricultural reservoirs in small ungauged watersheds, Journal of Hydrology: Regional Studies, Volume 41, June 2022, 101114.

16.3 المراجع الإلكترونية:

1. <https://.earthdata.nasa.gov>
2. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
3. <https://www.agricolus.com/en/academy/>